©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Zum Problem der Temperaturerhöhung am Grunde tiefer Seen

Von

Dr. Johann Müllner

(Vorgelegt in der Sitzung vom 6. November 1946)

Messungen der Wasserwärme am Grunde tiefer Seen lieferten nach zwei Seiten hin beachtenswerte Ergebnisse. Sie brachten zunächst die Erkenntnis, daß diese Wärme keine konstante Größe ist, sondern Schwankungen unterliegt, die sich bei jedem See innerhalb gewisser spezifischer Grenzen bewegen. Der Altmeister der Seenforschung Friedrich Simony hat[1] auf Grund seiner Beobachtungen im Gmundner- und im Attersee auf diese Tatsache bereits aufmerksam gemacht und in dem Wärmezustand der vorausgegangenen Winterperiode, in dem sich auch die jeweiligen Windverhältnisse geltend machen, die Ursache für die Schwankungen der Temperatur am Seegrunde und deren Ausmaß gefunden. W. Halbfaß hat[2] dann zusammenfassend eine tabellarische Übersicht über die höchsten und niedrigsten Bodentemperaturen in einer Reihe von Seen gegeben und dadurch gezeigt, daß diese Schwankungen in den Alpenseen erheblich geringer sind als in einigen außeralpinen Seen. In dem Wechsel der Tiefentemperaturen lasse sich der klimatische Unterschied einzelner Jahre viel deutlicher erkennen als in den Höchst- und Niedrigst-

---

[1] Über die Grenzen des Temperaturwechsels in den tiefsten Schichten des Gmundnersees und Attersees. Sitz.-Ber. der k. Akademie der Wissenschaften, 71. Bd., I. Abt., Wien 1875. — Vgl. auch J. Müllner, Die Temperaturverhältnisse der Seen des Salzkammergutes, Graz 1895, S. 15. — W. Halbfaß, Die Thermik der Binnenseen und das Klima. Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1905, S. 220.

[2] Grundzüge einer vergleichenden Seenkunde, Berlin 1923, S. 211ff. — Vgl. auch W. Halbfaß, Seen, in B. Gutenberg, Handbuch der Geophysik, Bd. VII, Lieferung 1, Berlin 1933, S. 173.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

werten der Luftwärme, weil diese Tiefentemperaturen der Niederschlag der gesamten Wärmeverhältnisse einer Zeitperiode seien und demnach den tiefen Seen der Charakter von Klimamessern zukomme. Eine Erklärung der Schwankungen aus rein klimatischen Ursachen gab[1] auch Fr. Ruttner, indem er den meteorologischen Verhältnissen, die unmittelbar nach dem Auftauen eines Sees herrschen, eine ausschlaggebende Bedeutung für den Wärmezustand der Tiefe zuerkannte. Eine rasche und ohne eine längere Zirkulationsperiode vonstatten gegangene oberflächliche Erwärmung habe zur Folge, daß sich die Tiefenwärme des Sees den ganzen Sommer über nahe bei 0° halte. Herrsche jedoch zu dieser Zeit wechselndes und windiges Wetter, dann werde auch die Tiefe allmählich erwärmt, bevor sich eine widerstandsfähige Schichtung ausbilden könne. Daher komme es, daß die Tiefenwärme ein und desselben Sees in verschiedenen Jahren keineswegs gleich sei.

Erscheinen somit die Schwankungen als eine Funktion der klimatischen Verhältnisse, so besagt dies keineswegs, daß neben diesen nicht auch noch andere Ursachen an der Bildung des jeweiligen Wärmezustandes im Bereiche der größten Tiefe beteiligt sein können. Diese Erwägung führt uns zur Würdigung eines zweiten Ergebnisses der Messungen der Wasserwärme am Grunde tiefer Seen. Es besteht darin, daß unmittelbar über dem Seeboden das Wasser mehrfach eine größere Wärme aufwies als eine darüber lagernde Wasserschichte von mehr oder minder starker Mächtigkeit.

Auch diese Tatsache wurde im Jahre 1849 von Fr. Simony zuerst festgestellt,[2] und zwar auf Grund seiner Messungen im Hallstättersee. Er erblickte in ihr eine Folge der Einwirkung der Erdwärme. Im Jahre 1867 erklärte[3] aber R. v. Schlagintweit-Sakünlünski, gestützt auf seine Temperaturmessun-

[1] Grundriß der Limnologie, Berlin 1940, S. 28.

[2] Die Seen des Salzkammergutes. Sitz.-Ber. der mathem.-naturw. Klasse der k. Akademie der Wissenschaften in Wien, 1850, S. 18. — Vgl. auch J. Müllner, Die Temperaturverhältnisse der Seen des Salzkammergutes, a. a. O. S. 15 ff.

[3] Über die Temperatur der Alpenseen in großen Tiefen. Sitz.-Ber. der kgl. bayer. Akademie der Wissenschaften in München, 1867, Bd. I, S. 305 ff.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

gen im Starnberger- und im Chiemsee, daß die Erdwärme ebenso wie Quellen, die allenfalls aus dem Seeboden aufsprudeln, auf die Wasserwärme am Seegrunde nur einen sehr geringen Einfluß auszuüben imstande seien. Er nahm daher eine Erwärmung des Bodenwassers von oben her an, die bei Seen mit großem Zufluß verhindere, daß die Temperatur am Grunde das Dichtemaximum erreiche. Auch F. A. Forel maß[1] im Jahre 1886 der Erdwärme sowie der durch Fäulnisprozesse hervorgerufenen Erhöhung der Wasserwärme eine nur sehr geringe Bedeutung bei und vertrat den Standpunkt, daß das Eindringen der Wärme in die Tiefenregion im wesentlichen auf die durch den Wind hervorgerufene mechanische Mischung des Oberflächenwassers mit dem der Tiefe zurückzuführen sei.

Seit dieser Zeit ist die Erklärung der Temperaturerhöhung am Grunde tiefer Seen ein Problem geblieben, das in verschiedener Weise zu lösen versucht wurde. E. Richter, der eine höhere Grundtemperatur im Millstättersee viermal, im Wörthersee achtundzwanzigmal, im Königssee drei-, bzw. fünfmal und im Traunsee einmal hatte feststellen[2] können, sprach sich schon auf dem IX. Deutschen Geographentage in einem Vortrage über die Temperaturverhältnisse der Alpenseen wieder dahin aus,[3] daß die Erdwärme und die Fäulniswärme der unten lagernden Organismen die Ursache dieser Erscheinung seien. Er stützte sich hiebei vor allem auf die Beobachtungen im Königssee, in dem er lediglich zum Nachweis der erhöhten Grundtemperatur in einem Sommer fünfmal Messungen dieser vorgenommen hatte,[4] die jedesmal Temperaturen von 5·5° bis 5·0° ergaben, während in der darüber liegenden Wasserschichte bloß eine Wärme von

---

[1] Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, 103, 1886, II, S. 47 ff. — Auch J. C. Russel (Lakes of North America, Boston, New York, Chicago, London 1894, S. 35) vermochte sich nicht damit zu befreunden, daß die Tiefentemperaturen sehr tiefer Seen durch die Erdwärme beeinflußt werden.

[2] Seestudien. A. Pencks Geogr. Abhandlungen, Bd. VI, Heft 2, Wien 1897, S. 68 ff.

[3] Siehe Verhandlungen des IX. Deutschen Geographentages, Wien 1891, S. 196.

[4] An den Messungen am 22. und 23. Juli 1891 nahm ich teil.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

3·9° bis 4·4° herrschte. E. Richter legte besonderes Gewicht darauf, daß sich infolge der Lage des Königssees inmitten von Bergen, die eine relative Höhe von 2000 m besitzen, die Geoisothermen unter dem Seeboden in ganz ungewöhnlicher Weise zusammendrängen müssen und infolgedessen ein Wärmegefälle gegen den Seegrund bestünde. Für den Königssee käme übrigens die Fäulniswärme nicht in Betracht, da der Seegrund gemäß den aufgeholten Grundproben nur aus weißem hartem Kalkschlamm mit sehr wenigen organischen Resten bestünde.

In seinem Handbuch der Seenkunde führte[1] F. A. Forel im Jahre 1901 unter den Wärmequellen für einen See auch die Eigenwärme der Erde an, die sich durch Leitung den Schichten des Sees mitteile, die mit dem Gestein der Sohle und der Wannenwandungen in Berührung stehen. Er hielt den Einfluß dieser Wärmezufuhr für verschwindend klein, da sie nur eine Wasserschichte von 4 m Dicke um 0·1° zu erwärmen vermöchte. Im gleichen Jahre gab[2] W. Ule der Vermutung Raum, die Messungsergebnisse E. Richters beruhten auf einem Beobachtungsfehler. Er veranstaltete daher mit einem Thermometer eigener Konstruktion Messungen in mehreren Seen, darunter auch im Königssee, und fand die Angaben E. Richters vollkommen bestätigt. Er vermochte jedoch der Einwirkung der Erdwärme nicht beizupflichten, weil diese als konstante Wärmequelle in dem See einen thermischen Gleichgewichtszustand herbeiführen müßte. Sie vermöchte zwar eine höhere Tiefentemperatur zu erzeugen, wäre aber nicht imstande, zu bewirken, daß kaltes, schweres Wasser auf wärmerem und daher leichterem Wasser ruht. Nach seiner Anschauung müsse die Wärmequelle am Grunde des Königssees veränderlicher Natur sein, wie z. B. warme Quellen. Aber deren Wasser würde sofort zur Seeoberfläche emporsteigen. Das Zusammendrängen der Geoisothermen könnte nur eine höhere Temperatur der gesamten Wassermasse in der Tiefe im Gefolge haben. Eine mittelbare Wirkung der Erdwärme gesteht W. Ule zu, aber es müsse neben dieser noch ein anderer Faktor wirksam sein, der das warme Wasser in der

[1] Stuttgart 1901, S. 99 ff.

[2] Der Würmsee, Leipzig 1901, S. 149 ff.

Tiefe sich gleichsam ablagern lasse. Dieses müßte trotz seiner höheren Wärme schwerer sein als das über ihm liegende kältere Wasser. Ule vermutete infolgedessen in der Tiefe des Königssees salzreicheres Wasser als in den höheren Lagen. Im übrigen bezeichnete er die Tatsache der höheren Temperatur des Bodenwassers als ein ungelöstes Problem.

Einige Jahre später äußerte[1] sich M. Groll dahin, daß die mit Sinkstoffen beschwerten Zuflüsse auf das Tiefenwasser erwärmend einwirken können und sogar am Seeboden in einer beschränkt dicken Schicht etwas höhere Temperaturen hervorzubringen vermögen, als sie den darüber liegenden Schichten zu eigen sind. Er griff damit einen Gedanken auf, dem schon Fr. Simony Ausdruck verliehen hatte,[2] als er eine bis auf den Grund hinabreichende Erwärmung des Gmundnersees auf die Wassermasse zurückführte, welche die Traun in den See geworfen hatte. Gegen den Einfluß der Erdwärme wandte sich M. Groll aus zwei Gründen: erstens müßte, wie bereits W. Ule zu erwägen gab, diese als konstante Kraft in der Seetiefe eine zum mindesten einigermaßen konstante Temperatur hervorrufen; zweitens könne diese Erwärmung keine Folge des Zusammendrängens der Geoisothermen sein, weil sich die Erscheinung der erhöhten Tiefentemperatur sowohl in Hochgebirgs- als auch in Flachlandsseen[3] habe feststellen lassen und zuweilen in ganz unbegründeter Weise überhaupt fehle.

Bald darauf beschäftigte sich O. Aufseß[4] mit der Frage des warmen Tiefenwassers und machte geltend, daß W. Ule in den meisten Seen überhaupt keine Erhöhung der Wasserwärme am Seegrunde habe feststellen können und daß dort, wo er eine solche gefunden habe, diese so gering gewesen sei, daß sie

---

[1] Der Oeschinensee im Berner Oberland, Bern 1904, S. 58ff.

[2] Über die Grenzen des Temperaturwechsels usw., a. a. O. S. 8ff.

[3] Z. B. im Sakrowersee, wo sie aber durch chemische Zersetzungsprozesse des Faulschlamms am Boden erklärt werden. Vgl. W. Halbfaß, Grundzüge einer vergleichenden Seenkunde, Berlin 1923, S. 207.

[4] Die physikalischen Eigenschaften der Seen, Braunschweig 1905, S. 105. — Untersuchungen über die Erhöhung der Temperatur am Grunde der Seen. Petermanns Geogr. Mitteilungen, Gotha 1905, S. 258ff. — Erwiderung auf die Notiz des Herrn Prof. Dr. W. Halbfaß, ebenda, 1906, S. 71.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

in den Bereich der Beobachtungsfehler fiele. Des weiteren hielt er es nicht für unmöglich, daß durch den mit der Tiefe wachsenden Wasserdruck der Flüssigkeitsfaden in der Thermometerröhre vorwärtsgeschoben werde und die bisherigen Beobachtungen unter diesem das Messungsergebnis beeinträchtigenden Fehler gelitten hätten. Er neigte der Ansicht zu, daß die Temperaturen in der Tiefe eines Sees nicht so konstant seien, wie bisher angenommen wurde, und setzte ziemlich plötzliche lokale Änderungen in der Nähe des Grundes auf Rechnung unterseeischer Quellen. In seiner Arbeit über die Temperaturverhältnisse im Walchensee berührte[1] O. Aufseß die Frage der Temperaturerhöhung im Anschluß an die Messungsergebnisse in diesem See mit dem Hinweis, daß von dieser nichts zu merken gewesen sei.

W. Halbfaß sah[2] sich durch die Feststellungen von O. Aufseß veranlaßt, auch des Einflusses zu gedenken, den der Wasserdruck auf die Höhe der Wasserwärme ausübt. Er fand die hiedurch entwickelte Wärme äußerst gering.

Auf den Druck, den eine Wassersäule auf ihre Unterlage ausübt und dadurch deren Wärmezustand beeinflußt, hatte Fr. Simony schon im Jahre 1870 aufmerksam gemacht.[3] Unter Hinweis auf dessen Ausführungen habe ich schon im Jahre 1895 darauf Nachdruck gelegt,[4] daß die Temperatur des Dichtemaximums nicht unter allen Umständen 4° beträgt, und berief mich auf Marshall, Smith und Osmond, die bereits im Jahre 1882 auf Grund ihrer Beobachtungen hatten feststellen können, daß bei einem Druck von 180 Atmosphären das Dichtemaximum des Wassers bei 1·3° gelegen ist.

---

[1] Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1912, II, S. 319.

[2] Die Thermik der Binnenseen und das Klima. Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1905, S. 220, und „Zu der Mitteilung von Dr. O. Aufseß: Untersuchungen über die Erhöhung der Temperatur am Grunde der Seen".

[3] Temperatur und Wasserdruck in größeren Seetiefen. Archiv für Seewesen, hrg. von J. Ziegler, Wien 1870, VI. Bd., S. 205, und Temperaturverhältnisse in den oberösterreichischen Seen. Mitt. der Geogr. Gesellschaft, Wien 1870, S. 184.

[4] Die Temperaturverhältnisse der Seen des Salzkammergutes, Graz 1895, S. 17.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

W. Halbfaß trat[1] im Jahre 1910 der Frage des Wasserdruckes neuerdings näher und führte vor allem Lussana[2] ins Treffen, der für die Beziehungen zwischen der Temperatur der größten Dichte und dem Druck, unter dem das Wasser in der betreffenden Tiefe steht, die Formel $t = 4{\cdot}10^0 - 0{\cdot}0225\,(p - t)$ aufstellte, in der p den Druck in Atmosphären bedeutet. W. Halbfaß legte Gewicht auf die Feststellung, daß die Temperatur der tiefsten Schichten tiefer Seen fast immer weit über derjenigen liege, die dem Wärmezustande der größten Dichte in der betreffenden Tiefe entspreche, und führte als Beweise hiefür an, daß im Crater lake in Oregon in 600 m Tiefe 3·5° und im Hornindalsvand in Norwegen in 500 m Tiefe 3·6° gemessen worden seien. Auch der Baikalsee füge sich in dieses Ergebnis ein. Mit ihm werden wir uns im folgenden noch beschäftigen.

Auch A. Hamberg befaßte[3] sich mit der Einwirkung des Druckes auf das Dichtemaximum der süßen Gewässer und gelangte zu dem Schlusse, daß schon in Seen von einigen zehn Meter Tiefe ein merkbares Sinken der Temperatur des Dichtemaximums eintreten müsse. Im besonderen erwähnte er, daß in mehreren in europäischen Seen gewonnenen Temperaturreihen sich Beispiele von Wasserschichten fänden, die eine niedrigere Temperatur als 4° hatten und unter viergradigem Wasser lagerten. Nach A. Hamberg würde viergradiges Bodenwasser in 200, bzw. 400 m Tiefe eine stabile Lage nicht einnehmen, da es sonst wegen des in diesen Tiefen herrschenden Druckes leichter wäre als darüber liegende Schichten mit einer um einige Zehntelgrade niedrigeren Temperatur.

F. Schnabl[4] bemerkte, daß sich seit der Verwendung verbesserter Instrumente eine Temperaturerhöhung am Grunde zwar seltener gezeigt habe, daß aber ihr gelegentliches Vorhandensein nicht geleugnet werden könne. Er beobachtete sie beispielsweise

[1] Ergebnisse einiger Temperaturmessungen in einigen tiefen Seen Europas. Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1910, II, S. 163 ff.

[2] Influenza della pressione sulla temperatura del massimo di densità dell'acqua e delle soluzioni acquose. Il Nuovo Cimento, ser. IV, 2, 1895, S. 232 ff.

[3] Dichteunterschiede und Temperaturverteilung hauptsächlich der Binnenseen. Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1911, S. 312.

[4] Die Thermik der Alpenseen, Korneuburg 1911, S. 18 ff.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

fast immer über der größten Tiefe des Kärntner Weißensees, daneben aber auch ausnahmsweise an weniger tiefen Stellen. Er erklärte diese Erscheinung dadurch, daß in den Spalten des klüftigen Kalkgesteins, das die Gehänge der Seewanne zusammensetzt, unterirdisch dem See Wasser zufließt. Dieses hat eine fast stets gleichbleibende Temperatur und enthält reichlich gelösten Kalk. Dadurch schwerer geworden, besäße es die Fähigkeit, unter ein Wasser, das kaum um 1° kälter sei, unterzusinken, bzw. unter einem solchen zu verharren.[1]

Einige Zeit später neigte G. Götzinger[2] dazu, die Temperaturanomalie durch das Untertauchen von Zuflußwasser zu erklären, das infolge seiner Wärme oder seiner Schlammführung und dem Gehalt an gelösten Substanzen schwerer sei als das Seewasser. Er räumte diesem Faktor größere Bedeutung ein als der Erdwärme, Quellen, dem Grundwasser oder den Fäulnisvorgängen im Bodenschlamm.

Eingehender prüfte[3] unsere Frage erst im Jahre 1923 wieder W. Halbfaß. Er wandte sich dagegen, sie nach dem Beispiel von O. Aufseß als Folge von Instrumentenfehlern oder subjektiver Fehler des Beobachters anzusehen und führte eine Reihe von Seen an, in denen keine Erhöhung der Bodenwärme wahrzunehmen gewesen war. Im Hinblick auf diese Tatsache müsse man mit der Möglichkeit rechnen, daß dieses Phänomen in bestimmten Seen nicht auftritt. Im Gegensatz zum Königssee sei beim Walchensee und dem Würmsee von einer Wirkung der Erdwärme nichts zu spüren. Dies erkläre sich aus der gänzlichen Verschiedenheit der Umgebung. Auch der Einfluß der Quellen dürfe nicht verallgemeinert werden. Es sei z. B. un-

---

[1] Vgl. hiezu auch J. Findenegg, Der Weißensee in Kärnten. Klagenfurt 1936, S. 19, der darauf verweist, daß das 5° warme Tiefenwasser, das unter einem 4° warmen liegt, einen viel höheren Gehalt an gelösten Stoffen aufweist, der den thermisch bedingten Dichteunterschied nicht nur aufhebe, sondern sogar überkompensiere, und dadurch der Auffassung F. Schnabls beipflichtet.

[2] Neuere Ergebnisse österreichischer Alpenseeforschung. Vorträge des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien, 56. Jahrg., H. 4, Wien 1916, S. 11, und: Einige neuere Aufgaben der Alpenseeforschung. A. Penck-Festband, Stuttgart 1918, S. 267.

[3] Grundzüge einer vergleichenden Seenkunde, Berlin 1923, S. 205 ff.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wahrscheinlich, daß die Temperatur eines so ausgedehnten Sees, wie es der Hallstättersee sei, von Quellzuflüssen abhänge. Bezüglich der Wirkungen des Wasserdruckes gab W. Halbfaß zwar zu, daß die Temperatur der größten Dichte des Wassers sinke, wenn dieses einem höheren Drucke ausgesetzt sei, verwies aber gleichzeitig darauf, daß die Beobachtungen im Baikalsee eine viel höhere Temperatur ergaben, als sie der Druck verlangte. Das physikalische Verhalten des Wassers vermöchte nur zu erklären, daß in der Tiefe wärmeres Wasser von kühlerem überlagert sein kann, nicht aber, daß die Zunahme der Wärme nur unmittelbar über dem Erdboden erfolge. Zudem scheine die Temperaturerhöhung am Seegrunde kein allgemeines, sondern ein nur in bestimmten Seen auftretendes Phänomen zu sein. Das Zuflußwasser als dessen Ursache käme nur für gewisse Jahreszeiten in Betracht.

Eine von den bisherigen Versuchen völlig abweichende Erklärung der Temperaturanomalie gab[1] A. Endrös. Er schloß aus dem Auftreten einer Seiche von großer Periodendauer im Königssee, daß dieser ein periodischer Wasserausgleich mit einem unterirdischen Grundwasserbecken zugrunde liegen müsse. Das Wasser in letzterem sei wärmer als das im See. Bei einer Ausschwingung — innerhalb 45 Minuten — könnten bis zu 10.000 m^3 Grundwasser in den See gelangen. Daß E. Richter bei zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Messungen einen Wärmeunterschied von 0·5° gefunden habe, sei dadurch begründet, daß die höhere Temperatur zur Zeit des Einströmens, die niedrigere zur Zeit des Rückströmens des Grundwassers beobachtet wurde. Die Stelle, an der E. Richter seine Messungen vornahm, müsse in der Nähe der Einmündung des Verbindungskanals zwischen Seewanne und Grundwasserbecken gelegen gewesen sein.

W. Halbfaß pflichtete[2] dieser Erklärung bei, stellte fest, daß der Königssee zu denjenigen Seen gehöre, die neben der oberirdischen Speisung durch Niederschläge und Zuflüsse auch

[1] Eine merkwürdige Seiche des Königssees und die eigentümliche Temperaturschichtung seines Tiefenwassers. Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1927, S. 73 ff.

[2] Probleme der hydrographischen Seenkunde. Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1928, S. 334 ff.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

unterirdische Wasserzufuhr erhalten, und regte an, in allen Fällen, in denen die Temperaturanomalie des Tiefenwassers beobachtet wurde, nachzuprüfen, ob diese Erscheinung nicht durch Grundwasserspeisung bedingt sei. Er führte als Gegenbeispiel den Achensee an, dessen Becken durch völlig undurchlässige Schichten von dem unter ihm liegenden Grundwasser getrennt sei. In ihm habe man daher noch nie eine Erhöhung der Wasserwärme am Seegrunde gefunden. Gleichzeitig wies W. Halbfaß wieder auf die Abhängigkeit der Temperatur des Wassers tieferer Schichten von dem Drucke, unter dem dieses steht, hin und bezeichnete dieses Problem der hydrographischen Seenkunde als eines, das bereits seit einer Reihe von Jahren als solches empfunden, aber trotzdem bis in die neueste Zeit kaum ernstlich in Angriff genommen worden sei. Er gedachte in diesem Zusammenhange der Untersuchungen G. Wereschtschagins im Baikalsee, die zum erstenmal brauchbare Vorarbeiten für die Lösung dieses Problems geliefert hätten.

Mit den Ergebnissen dieser Untersuchungen befaßte[1] sich W. Halbfaß eingehender im Jahre 1928 in einem Aufsatz über die Temperaturverhältnisse dieses Sees. Vor allem hob er dabei hervor, daß über die Art und Weise, in der die Temperatür der größten Dichte mit dem Drucke, unter dem das Wasser steht, sinke, die Untersuchungen, die bisher in physikalischen Laboratorien angestellt wurden, auseinandergehen. Vergleiche man die im See gemessenen Temperaturen mit den Werten der größten Dichte des Wassers in der betreffenden Tiefe, so zeige sich fast durchwegs, daß beide Werte teils im positiven, teils im negativen Sinne voneinander abweichen. Die Unterschiede zugunsten der beobachteten Temperaturwerte überwogen nach der Tiefe hin, und zwar um so mehr, je tiefer die gemessene Wasserschichte gelegen war.

An Hand der Messungsergebnisse Wereschtschagins konnte ferner festgestellt werden, daß in den Wasserschichten von

[1] Die Temperaturverhältnisse im Baikalsee mit besonderer Berücksichtigung des Wasserdruckes tieferen Schichten nach Wereschtschagin: Einige Angaben über die Tiefseeverhältnisse im Baikalsee. Travaux de la Commission pour l'étude du lac Bajkal, vol. II. Gerlands Beiträge zur Geophysik, Bd. XIX, H. 4, 1928, Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig, S. 349 ff.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

weniger als 200 m Tiefe die Temperaturverhältnisse in Abhängigkeit von der Jahreszeit stehen. Die wirkliche Wasserwärme war in den Wintermonaten — von Februar bis anfangs Juni — geringer als die Temperatur der größten Dichte, von Mitte Juni an dagegen größer. Das Maximum des Überschusses der wirklichen Temperatur betrug am 4. August 1926 14·74° in 0 m Tiefe, 5·3° in 10 m und 0·84° in 25 m Tiefe. Im Winter — am 23. Februar 1926 — erreichte der Unterschied zuungunsten der gemessenen Temperatur in der Seeoberfläche 3·96°, in 10 m Tiefe 3·94° und in 25 m Tiefe 2·94°. Die Sachlage spricht dafür, daß im Baikalsee der Juni der Übergangsmonat sein dürfte.

Nach G. J. Wereschtschagin[1] beträgt die Temperatur der größten Dichte in

0 m	3·96°	75 m	3·89°
10	3·95°	100	3·83°
25	3·94°	150	3·73°
50	3·92°		

Legen wir vergleichsweise diese Werte einer Überprüfung der Messungsergebnisse in den obersten 50 m des Achensees zugrunde, so ergibt sich das in den Tabellen 1 und 2 sowie in den beiden Diagrammen festgehaltene Bild. Tabelle 2 lehrt im besonderen, daß der größte Überschuß zugunsten der wirklichen Wasserwärme im Jahre 1934 in der Seeoberfläche 14·44° betrug. Dieser Wert ist nur um 0·3° kleiner als der im Baikalsee gewonnene. Im Gegensatz hiezu sind die Werte für 10 m und 25 m Tiefe im Achensee wesentlich größer als die für letzteren. Der Unterschied beläuft sich auf 6·75°, bzw. 3·92°. Während im Seespiegel der größte Überschuß der wirklichen Wasserwärme in den in Frage stehenden Jahren 1934 bis 1936 sich in den Monaten Juli und August einstellte, kam er in der Schicht von 25 m erst im September und Oktober, in der Schicht von 40 m erst im Oktober und November und in der Tiefe von 50 m erst zwischen September und Dezember zum Vorschein; das heißt also um so später, je tiefer die Wasserschichte gelegen war. Machte sich hier der Einfluß der Tiefe, und zwar

[1] Grundstriche der vertikalen Verteilung der Dynamik der Wassermassen des Baikalsees. Leningrad 1936, S. 1213.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 1.

Tag	Tiefe in Metern							
	0		10		25		50	
	Temperatur der größten Dichte							
	3·96°		3·95°		3·94°		3·92°	
	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte
13. Dez. 1933	5·0	+ 1·04	4·9	+ 0·95	4·9	+ 0·96	5·0	+ 1·08
19. „ 1933	4·3	+ 0·34	4·5	+ 0·55	4·5	+ 0·56	4·5	+ 0·58
27. „ 1933	3·2	— 0·76	4·2	+ 0·25	4·2	+ 0·26	4·3	+ 0·38
2. Jänn. 1934	3·8	— 0·16	4·0	+ 0·05	4·1	+ 0·16	4·3	+ 0·38
9. „ 1934	2·1	— 1·86	3·0	— 0·95	3·8	— 0·14	4·2	+ 0·28
16. „ 1934	3·4	— 0·56	3·5	— 0·45	3·6	— 0·34	3·9	— 0·02
23. „ 1934	2·8	— 1·16	3·0	— 0·95	3·3	— 0·64	3·9	— 0·02
30. „ 1934	2·6	— 1·36	2·7	— 1·25	2·8	— 1·14	3·2	— 0·72
6. Febr. 1934	2·2	— 1·76	2·5	— 1·45	2·9	— 1·04	3·2	— 0·72
13. „ 1934	2·2	— 1·76	2·4	— 1·55	2·7	— 1·24	3·5	— 0·42
20. „ 1934	2·7	— 1·26	2·8	— 1·15	2·8	— 1·14	3·7	— 0·22
6. März 1934	2·8	— 1·16	2·9	— 1·05	3·0	— 0·94	3·7	— 0·22
13. „ 1934	3·3	— 0·66	3·3	— 0·65	3·3	— 0·64	3·6	— 0·32
22. „ 1934	3·5	— 0·46	3·5	— 0·45	3·5	— 0·44	3·6	— 0·32
3. April 1934	3·07	— 0·89	3·08	— 0·87	3·08	— 0·86	4·0	+ 0·08
10. „ 1934	4·1	+ 0·14	4·1	+ 0·15	4·1	+ 0·16	4·1	+ 0·18
17. „ 1934	5·5	+ 1·54	4·4	+ 0·45	4·4	+ 0·46	4·3	+ 0·38
25. „ 1934	4·9	+ 0·94	4·8	+ 0·85	4·8	+ 0·86	4·8	+ 0·88
2. Mai 1934	5·6	+ 1·64	5·2	+ 1·25	5·1	+ 1·16	5·0	+ 1·08
15. „ 1934	8·4	+ 4·44	8·0	+ 4·05	6·5	+ 2·56	4·6	+ 0·68
23. „ 1934	10·0	+ 6·04	8·2	+ 4·25	6·7	+ 2·76	4·3	+ 0·38
29. „ 1934	10·8	+ 6·84	9·2	+ 5·25	7·2	+ 3·26	4·8	+ 0·88
5. Juni 1934	12·3	+ 8·34	11·5	+ 7·55	7·0	+ 3·06	5·1	+ 1·18
12. „ 1934	12·3	+ 8·34	11·1	+ 7·15	6·5	+ 2·56	5·0	+ 1·08
19. „ 1934	14·5	+ 10·54	12·3	+ 8·35	7·4	+ 3·46	5·2	+ 1·28
26. „ 1934	15·5	+ 11·54	12·4	+ 8·45	7·3	+ 3·36	5·2	+ 1·28
3. Juli 1934	16·0	+ 12·04	12·5	+ 8·55	7·7	+ 3·76	5·4	+ 1·48
10. „ 1934	17·3	+ 13·34	14·0	+ 10·05	7·8	+ 3·86	5·5	+ 1·58
17. „ 1934	16·2	+ 12·24	13·6	+ 9·65	7·3	+ 3·36	5·4	+ 1·48
24. „ 1934	17·6	+ 13·64	15·2	+ 11·25	7·4	+ 3·46	5·5	+ 1·58
31. „ 1934	18·4	+ 14·44	14·5	+ 10·55	7·1	+ 3·16	5·4	+ 1·48
7. Aug. 1934	17·0	+ 13·04	14·8	+ 10·85	8·1	+ 4·16	5·6	+ 1·68
14. „ 1934	15·9	+ 11·94	14·6	+ 10·65	7·9	+ 3·96	5·4	+ 1·48
21. „ 1934	17·4	+ 13·44	15·0	+ 11·05	8·4	+ 4·46	5·5	+ 1·58
28. „ 1934	16·5	+ 12·54	16·0	+ 12·05	8·3	+ 4·36	5·5	+ 1·58
4. Sept. 1934	15·0	+ 11·04	14·6	+ 10·65	8·5	+ 4·56	5·4	+ 1·48
11. „ 1934	15·9	+ 11·94	15·0	+ 11·05	8·7	+ 4·76	5·4	+ 1·48

Tag	Tiefe in Metern							
	0		10		25		50	
	Temperatur der größten Dichte							
	3·96°		3·95°		3·94°		3·92°	
	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte
18. Sept. 1934	16·0	+ 12·04	14·9	+ 10·95	8·2	+ 4·26	5·4	+ 1·48
25. „ 1934	15·6	+ 11·64	14·8	+ 10·85	8·6	+ 4·66	5·5	+ 1·58
2. Okt. 1934	15·9	+ 11·94	14·9	+ 10·95	8·4	+ 4·46	5·5	+ 1·58
11. „ 1934	13·2	+ 9·24	13·3	+ 9·35	8·1	+ 4·16	5·5	+ 1·58
19. „ 1934	11·5	+ 7·54	11·6	+ 7·65	8·7	+ 4·76	5·5	+ 1·58
24. „ 1934	10·7	+ 6·74	11·0	+ 7·05	8·5	+ 4·56	5·7	+ 1·78
1. Nov. 1934	10·0	+ 6·04	10·4	+ 6·45	7·1	+ 3·16	5·3	+ 1·38
7. „ 1934	8·7	+ 4·74	8·6	+ 4·65	7·9	+ 3·96	5·8	+ 1·88
14. „ 1934	8·2	+ 4·24	8·2	+ 4·25	8·0	+ 4·06	5·1	+ 1·18
20. „ 1934	7·5	+ 3·54	7·5	+ 3·55	7·5	+ 3·56	6·2	+ 2·28
27. „ 1934	6·7	+ 2·74	6·9	+ 2·95	6·95	+ 3·01	6·9	+ 2·98
4. Dez. 1934	6·6	+ 2·64	6·7	+ 2·75	6·7	+ 2·76	6·3	+ 2·38
12. „ 1934	6·4	+ 2·44	6·4	+ 2·45	6·4	+ 2·46	6·3	+ 2·38
18. „ 1934	6·2	+ 2·24	6·2	+ 2·25	6·2	+ 2·26	6·3	+ 2·38
27. „ 1934	5·7	+ 1·74	5·9	+ 1·95	5·9	+ 1·96	6·0	+ 2·08
2. Jänn. 1935	5·4	+ 1·44	5·7	+ 1·75	5·7	+ 1·76	5·8	+ 1·88
8. „ 1935	5·2	+ 1·24	5·4	+ 1·45	5·4	+ 1·46	5·5	+ 1·58
16. „ 1935	4·6	+ 0·64	4·9	+ 0·95	5·0	+ 1·06	5·0	+ 1·08
22. „ 1935	4·5	+ 0·54	4·7	+ 0·75	4·7	+ 0·76	4·8	+ 0·88
30. „ 1935	4·2	+ 0·24	4·4	+ 0·45	4·5	+ 0·56	4·6	+ 0·68
5. Febr. 1935	3·9	— 0·06	4·0	+ 0·05	4·1	+ 0·16	4·1	+ 0·18
12. „ 1935	3·4	— 0·56	3·2	— 0·75	3·5	— 0·44	3·9	— 0·02
19. „ 1935	3·6	— 0·36	3·6	— 0·35	3·6	— 0·34	4·0	+ 0·08
26. „ 1935	3·6	— 0·36	3·6	— 0·35	3·7	— 0·24	3·9	— 0·02
5. März 1935	3·5	— 0·46	3·6	— 0·35	3·7	— 0·24	3·9	— 0·02
15. „ 1935	3·5	— 0·46	3·4	— 0·55	3·4	— 0·54	3·5	— 0·42
26. „ 1935	3·2	— 0·76	3·7	— 0·25	3·7	— 0·24	3·8	— 0·12
2. April 1935	3·8	— 0·16	3·8	— 0·15	3·8	— 0·14	3·9	— 0·02
9. „ 1935	3·9	— 0·06	3·8	— 0·15	3·8	— 0·14	3·9	— 0·02
18. „ 1935	4·0	+ 0·04	4·0	+ 0·05	4·0	+ 0·06	4·0	+ 0·08
23. „ 1935	4·5	+ 0·54	4·2	+ 0·25	4·2	+ 0·26	4·2	+ 0·28
30. „ 1935	4·7	+ 0·74	4·3	+ 0·35	4·3	+ 0·36	4·3	+ 0·38
7. Mai 1935	5·6	+ 1·64	4·8	+ 0·85	4·6	+ 0·66	4·6	+ 0·68
14. „ 1935	6·7	+ 2·74	5·7	+ 1·75	5·5	+ 1·56	5·1	+ 1·18
21. „ 1935	5·9	+ 1·94	5·6	+ 1·65	5·6	+ 1·66	5·0	+ 1·08
28. „ 1935	8·4	+ 4·44	7·9	+ 3·95	6·7	+ 2·76	5·5	+ 1·58
4. Juni 1935	9·0	+ 5·04	8·6	+ 4·65	7·1	+ 3·16	5·9	+ 1·98
12. „ 1935	12·2	+ 8·24	10·2	+ 6·25	6·0	+ 2·06	5·1	+ 1·18
18. „ 1935	12·0	+ 8·04	10·9	+ 6·95	7·1	+ 3·16	5·1	+ 1·18

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tag	Tiefe in Metern							
	0		10		25		50	
	Temperatur der größten Dichte							
	3·96°		3·95°		3·94°		3·92°	
	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte
25. Juni 1935	15·3	+ 11·34	11·4	+ 7·45	6·5	+ 2·56	5·3	+ 1·38
3. Juli 1935	17·8	+ 13·84	12·9	+ 8·95	7·0	+ 3·06	5·2	+ 1·28
9. „ 1935	16·4	+ 12·44	11·9	+ 7·95	6·5	+ 2·56	5·4	+ 1·48
16. „ 1935	18·0	+ 14·04	15·6	+ 11·65	7·1	+ 3·16	5·3	+ 1·38
23. „ 1935	17·3	+ 13·34	14·0	+ 10·05	7·8	+ 3·86	5·5	+ 1·58
1. Aug. 1935	17·2	+ 13·24	15·0	+ 11·05	7·6	+ 3·66	5·4	+ 1·48
6. „ 1935	16·7	+ 12·74	14·6	+ 10·65	7·4	+ 3·46	5·4	+ 1·48
13. „ 1935	18·2	+ 14·24	15·5	+ 11·55	7·7	+ 3·76	5·6	+ 1·68
20. „ 1935	16·2	+ 12·24	14·8	+ 10·85	7·5	+ 3·56	5·4	+ 1·48
27. „ 1935	16·6	+ 12·64	16·4	+ 12·45	6·8	+ 2·86	5·5	+ 1·58
3. Sept. 1935	16·5	+ 12·54	15·1	+ 11·15	7·4	+ 3·46	5·4	+ 1·48
11. „ 1935	15·0	+ 11·04	14·0	+ 10·05	7·5	+ 3·56	5·4	+ 1·48
17. „ 1935	14·4	+ 10·44	14·1	+ 10·15	7·6	+ 3·66	5·5	+ 1·58
25. „ 1935	14·1	+ 10·14	13·6	+ 9·65	7·4	+ 3·46	5·2	+ 1·28
1. Okt. 1935	12·7	+ 8·74	11·8	+ 7·85	7·0	+ 3·06	5·6	+ 1·68
8. „ 1935	12·2	+ 8·24	12·2	+ 8·25	7·3	+ 3·36	5·5	+ 1·58
15. 1935	12·0	+ 8·04	12·0	+ 8·05	7·7	+ 3·76	5·5	+ 1·58
22. „ 1935	11·0	+ 7·04	11·1	+ 7·15	9·4	+ 5·46	5·5	+ 1·58
29. „ 1935	9·4	+ 5·44	9·4	+ 5·45	5·8	+ 1·86	5·0	+ 1·08
5. Nov. 1935	8·9	+ 4·94	8·9	+ 4·95	8·9	+ 4·96	5·3	+ 1·38
19. „ 1935	7·0	+ 3·04	7·0	+ 3·05	7·2	+ 3·26	6·0	+ 2·08
26. „ 1935	6·3	+ 2·34	6·5	+ 2·55	6·5	+ 2·56	6·1	+ 2·18
3. Dez. 1935	5·9	+ 1·94	6·2	+ 2·25	6·2	+ 2·26	6·3	+ 2·38
10. „ 1935	5·3	+ 1·34	5·5	+ 1·55	5·6	+ 1·66	5·6	+ 1·68
17. „ 1935	4·8	+ 0·84	5·1	+ 1·15	5·1	+ 1·16	5·2	+ 1·28
24. „ 1935	4·7	+ 0·74	4·9	+ 0·95	4·9	+ 0·96	5·0	+ 1·08
31. „ 1935	5·1	+ 1·14	5·2	+ 1·25	5·2	+ 1·26	5·2	+ 1·28
8. Jänn. 1936	4·6	+ 0·64	4·6	+ 0·65	4·6	+ 0·66	4·7	+ 0·78
15. „ 1936	4·3	+ 0·34	4·4	+ 0·45	4·4	+ 0·46	4·5	+ 0·58
21. „ 1936	4·2	+ 0·24	4·4	+ 0·45	4·4	+ 0·46	4·5	+ 0·58
29. „ 1936	4·4	+ 0·44	4·6	+ 0·65	4·6	+ 0·66	4·6	+ 0·68
4. Febr. 1936	3·9	− 0·06	4·0	− 0·05	4·1	+ 0·16	4·2	+ 0·28
11. „ 1936	3·2	− 0·76	3·6	− 0·35	3·8	− 0·14	3·9	− 0·02
18. 1936	3·5	− 0·46	3·6	− 0·35	3·7	− 0·24	3·8	− 0·12
25. „ 1936	3·9	− 0·06	3·7	− 0·25	3·7	− 0·24	3·8	− 0·12
10. März 1936	4·0	+ 0·04	3·9	− 0·05	3·9	− 0·04	4·0	+ 0·08
17. „ 1936	3·8	+ 0·16	3·9	+ 0·05	4·0	+ 0·06	4·0	+ 0·08
24. „ 1936	4·5	+ 0·54	4·2	+ 0·25	4·2	+ 0·26	4·2	+ 0·28
31. „ 1936	5·1	+ 1·14	4·5	+ 0·55	4·5	+ 0·56	4·4	+ 0·48

Tag	Tiefe in Metern							
	0		10		25		50	
	Temperatur der größten Dichte							
	3·96°		3·95°		3·94°		3·92°	
	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. u. Temp. der größt. Dichte
8. April 1936	5·2	+ 1·24	4·8	+ 0·85	4·8	+ 0·86	4·5	+ 0·58
22. April 1936	5·2	+ 1·24	5·2	+ 1·25	5·2	+ 1·26	4·9	+ 0·98
28. „ 1936	5·9	+ 1·94	5·5	+ 1·55	5·4	+ 1·46	5·0	+ 1·08
5. Mai 1936	7·5	+ 3·54	6·5	+ 2·55	5·3	+ 1·36	4·9	+ 0·98
12. 1936	9·5	+ 5·54	7·9	+ 3·95	5·5	+ 1·56	5·0	+ 1·08
19. „ 1936	10·0	+ 6·04	8·2	+ 4·25	5·9	+ 1·96	5·1	+ 1·18
26. „ 1936	10·6	+ 6·64	8·6	+ 4·65	6·2	+ 2·26	5·2	+ 1·28
2. Juni 1936	10·4	+ 6·44	9·8	+ 5·85	6·4	+ 2·46	5·4	+ 1·48
9. „ 1936	9·4	+ 5·44	9·7	+ 5·75	6·8	+ 2·86	5·2	+ 1·28
16. „ 1936	12·6	+ 8·64	9·6	+ 5·65	7·8	+ 3·86	5·4	+ 1·48
23. 1936	15·4	+ 11·44	9·6	+ 5·65	6·8	+ 2·86	5·2	+ 1·28
30. „ 1936	15·5	+ 11·54	11·2	+ 7·25	7·1	+ 3·16	5·5	+ 1·58
7. Juli 1936	17·0	+ 13·04	13·1	+ 9·15	7·6	+ 3·66	5·7	+ 1·78
14. „ 1936	15·4	+ 11·44	12·1	+ 18·15	7·9	+ 3·96	5·6	+ 1·68
21. 1936	15·4	+ 11·44	14·8	+ 10·85	7·2	+ 3·26	5·4	+ 1·48
28. „ 1936	15·2	+ 11·24	14·8	+ 10·85	8·0	+ 4·06	5·5	+ 1·58
5. Aug. 1936	15·4	+ 11·44	15·0	+ 11·05	7·7	+ 3·76	5·7	+ 1·78
12. „ 1936	15·3	+ 11·34	15·0	+ 11·05	7·2	+ 3·26	5·2	+ 1·28
17. „ 1936	16·6	+ 12·64	15·0	+ 11·05	8·5	+ 4·56	5·3	+ 1·38
24. „ 1936	16·6	+ 12·64	15·8	+ 11·85	7·9	+ 3·96	4·6	+ 0·68
1. Sept. 1936	16·4	+ 12·44	16·0	+ 12·05	8·5	+ 4·56	6·2	+ 2·28
8. „ 1936	15·7	+ 11·74	15·8	+ 11·85	7·9	+ 3·96	5·9	+ 1·98
15. 1936	15·4	+ 11·44	14·3	+ 10·35	7·7	+ 3·76	5·4	+ 1·48
22. „ 1936	15·4	+ 11·44	14·8	+ 10·85	8·7	+ 4·76	4·8	+ 0·88
28. „ 1936	13·8	+ 9·84	14·2	+ 10·25	8·1	+ 4·16	5·4	+ 1·48
7. Okt. 1936	10·7	+ 6·74	11·2	+ 7·25	6·9	+ 2·96	5·6	+ 1·68
13. 1936	9·6	+ 5·64	9·8	+ 5·85	8·5	+ 4·56	5·5	+ 1·58
20. „ 1936	9·6	+ 5·64	9·6	+ 5·65	8·6	+ 4·66	5·6	+ 1·68
29. „ 1936	8·5	+ 4·54	8·7	+ 4·75	8·6	+ 4·66	5·8	+ 1·88
3. Nov. 1936	8·0	+ 4·04	8·1	+ 4·15	7·8	+ 3·86	5·3	+ 1·30
10. „ 1936	7·4	+ 3·44	7·5	+ 3·55	7·5	+ 3·56	5·6	+ 1·68
17. „ 1936	7·0	+ 3·04	7·0	+ 3·05	6·9	+ 2·96	6·0	+ 2·08
24. „ 1936	6·6	+ 2·64	6·6	+ 2·65	6·6	+ 2·66	5·6	+ 1·68
9. Dez. 1936	5·2	+ 1·24	5·4	+ 1·45	5·5	+ 1·56	5·4	+ 1·48
15. „ 1936	4·4	+ 0·44	5·0	+ 1·05	5·1	+ 1·16	5·2	+ 1·28
22. „ 1936	4·9	+ 0·94	4·9	+ 0·95	4·9	+ 0·96	5·1	+ 1·18
29. „ 1936	4·5	+ 0·54	4·3	+ 0·35	4·7	+ 0·76	4·9	+ 0·98
7. Jänn. 1937	4·5	+ 0·54	4·6	+ 0·65	4·6	+ 0·66	4·7	+ 0·78
13. „ 1937	4·5	+ 0·54	4·5	+ 0·55	4·5	+ 0·56	4·5	+ 0·58

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 2.

Größter Überschuß zugunsten der wirklichen Wasserwärme						
Tiefe in m	1934	Grade	1935	Grade	1936	Grade
0	31. Juli	14·44	13. Aug.	14·24	7. Juli	13·04
10	28. Aug.	12·05	27. Aug.	12·45	1. Sept.	12·05
25	11. Sept.	4·76	22. Okt.	5·46	22. Sept.	4·76
40	20. Nov.	3·47	15. Okt.	2·27	17. Nov.	2·57
50	27. Nov.	2·98	3. Dez.	2·38	1. Sept.	2·28

Größter Überschuß zuungunsten der wirklichen Wasserwärme						
Tiefe in m	1934	Grade	1935	Grade	1936	Grade
0	9. Jän.	— 1·86	26. März	— 0·76	11. Febr.	— 0·76
10	13. Febr.	— 1·55	12. Febr.	— 0·75	11. u. 18. Febr.	— 0·35
25	13. Febr.	— 1·24	15. März	— 0 54	18. u. 25. Febr.	— 0·24
40	3. April	— 0·84	15. März	— 0·53	18. u. 25. Febr.	— 0·13
50	30. Jän. 6. Febr.	— 0·72	15. März	— 0·42	18. u. 25. Febr.	— 0·12

Dauer des Überschusses zuungunsten der wirklichen Wasserwärme						
Tiefe in m	1934	Tage	1935	Tage	1936	Tage
0	27. Dez. — 3. April	98	5. Febr. — 9. April	64	4. Febr. — 25. II. (17. März)	22(23)
10	9. Jänn. — 3. April	85	12. Febr. — 9. April	57	11. Febr. — 17. März	36
25	9. Jänn. — 3. April	85	12. Febr. — 9. April	57	11. Febr. — 10. März	29
40	16. Jänn. — 3. April	78	12. Febr. — 9. April	57	11. Febr. — 10. März	29
50	16. Jänn. — 22. März	66	12. Febr. — 9. April	57	11. Febr. — 25. Febr.	15

einerseits in der zeitlichen Verspätung, anderseits in der Abnahme der Größe der Werte geltend, so lassen die Unterschiede der einzelnen Werte in den drei Jahren den auch im Baikalsee festgestellten Einfluß des jeweiligen Klimacharakters des Jahres deutlich erkennen. Eine gleiche Sachlage kennzeichnet der größte Überschuß zuungunsten der wirklichen Wasserwärme sowie dessen zeitliche Dauer. Im Jahre 1934 waren die Grenzen des Auftretens dieses Überschusses die Monate Dezember und April, im

Jahre 1935 Februar und April, 1936 Februar und März. Seine Dauer belief sich in der Seeoberfläche im Jahre 1934 auf 98, 1935 auf 64 und 1936 auf 23 Tage, in 50 m Tiefe auf 66, bzw. 57 und 15 Tage.

Eine konstante Größe bildete nur die Tatsache der ununterbrochenen Abnahme der zeitlichen Erstreckung und der Intensität dieses Überschusses mit der Zunahme der Tiefe. Vergegenwärtigen wir uns, daß sich die Abnahme der Wasserwärme

Tabelle 3

		A. Geistbeck[1]		E. Richter[2]		W. Hacker[3]	
Tiefe in m	Temperatur d. größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. und der Temperatur der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. und der Temperatur der größt. Dichte	Beobachtete Temperatur	Unterschied zw. beobacht. und der Temperatur der größt. Dichte
50	3·92°	4·2°	+ 0·28	4·5°	+ 0·58	5·21°	+ 1·29
60	3·91°	4·2°	+ 0·29	4·4°	+ 0·49	5·12°	+ 1·21
80	3·88°	4·2°	+ 0·32	4·35°	+ 0·47	5·04°	+ 1·16
100	3·83°	4·2°	+ 0·37	4·3°	+ 0·47		
120	3·79°	4·2°	+ 0·41	4·3°	+ 0·51		
134	3·76°	4·2°	+ 0·44	4·3°	+ 0·54	4·83°	+ 1·07

in den Schichten zwischen 50 m Tiefe und der tiefsten Stelle des Seegrundes, wie Tabelle 3 lehrt, nach der Messung A. Geistbecks[1] auf 0·0°, nach der E. Richters[2] auf 0·2° und nach der W. Hackers[3] auf 0·38° beläuft und demnach zumindest keine Erhöhung der Wasserwärme mit der Zunahme der Tiefe beobachtet werden konnte, so erhellt daraus, daß die Verringerung der zeitlichen Ausdehnung und der Intensität des Überschusses zuungunsten der wirklichen Wasserwärme irgendeinmal dem Nullwerte theoretisch mindestens nahekommen kann. In den tiefsten Schichten ist die wirkliche Wasserwärme durch-

[1] Die Seen der deutschen Alpen. Mitteilungen des Vereins für Erdkunde, Leipzig 1884,

[2] Seestudien. A. Penck, Geogr. Abhandlungen, VI, 2, Wien 1897, S. 65.

[3] Neue Lotungen und Temperaturmessungen im südlichen Achensee. Mitteilungen der Geogr. Gesellschaft iu Wien, 1928, Bd. 71, 4, S. 108.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wegs größer als die jeweilige dortige Temperatur der größten Dichte des Wassers. Am Seegrunde beträgt der Unterschied zwischen der beobachteten Temperatur und jener der größten Dichte zugunsten der ersteren nach A. Geistbeck 0·44°, nach E. Richter 0·54° und nach W. Hacker 1·07°. Er würde auf 0·0° herabsinken, wenn im Achensee die Wärme des Bodenwassers an der tiefsten Stelle bloß 3·76° betrüge.

Die für den Baikalsee gewonnene Erkenntnis, daß der Unterschied zugunsten der wirklichen Wasserwärme nach der Tiefe hin um so mehr überwiegt, je tiefer die Wasserschichte gelegen ist, findet demnach auch im Achensee ihre Bestätigung. Dieser fügt sich also in befriedigender Weise in das Bild ein, das Wereschtschagin und Halbfaß vom Baikalsee entworfen haben. Die Vorbedingungen für die Auswirkung des Wasserdruckes auf die Wasserwärme am Grunde des Sees wären infolgedessen erfüllt.

W. Halbfaß leitete aus der geschilderten Sachlage im Baikalsee die Erkenntnis ab, daß die Tiefentemperaturen tiefer Seen ganz erheblich höher seien, als es der Temperatur der größten Dichte entspräche. G. J. Wereschtschagin selbst gab zunächst der Überzeugung Ausdruck, daß die Unterschiede zwischen der wirklichen Wasserwärme und der Temperatur der größten Dichte des Wassers in der entsprechenden Tiefe weder durch Wärmeleitung noch durch Wärmestrahlung, mögen diese von oben oder von unten kommen, erklärt werden könnten, daß vielmehr die Ursache dieser Erscheinung der Wind sei, den genügende Stärke befähige, die obersten wärmeren Schichten bis in große Tiefen hinabzutreiben. Durch die Vermischung mit den kühleren Schichten entstünde ein Wärmezustand, der erheblich über der Temperatur der größten Dichte gelegen sei. Hiezu käme, daß die natürliche Schichtung des Wassers, dessen Temperatur unter 4° liegt, nicht nur von der in ihr gemessenen Temperatur, sondern auch von der absoluten Tiefe abhängt, in der die Temperatur gemessen wurde. In den Schichten nahe der Oberfläche, wo auf dem Wasser nur der Druck einer Atmosphäre lastet, lagert Wasser von 3° über solchem von 3·5°, dieses wieder über solchem von 4°, sobald vollkommene Ruhe ein-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

getreten ist. Dagegen liegt in etwa 600 m Tiefe, wo sich die Temperatur der größten Dichte auf 2·86° beläuft, Wasser von 4° über solchem von 3·5° und dieses wieder über dem von 3°. Die Sachlage ist demnach der vorigen gerade entgegengesetzt. Diese Tatsache macht verständlich, daß sich verhältnismäßig warmes Wasser auch in großen Tiefen des Baikalsees dauernd erhalten kann. G. Wereschtschagin machte auch darauf aufmerksam, daß zwischen der Temperatur der tieferen Schichten und der jeweiligen Windstärke ein Zusammenhang bestehe. Im Sommer ist diese am geringsten, im Winter am größten. Die Abweichungen der gemessenen Temperatur von der Temperatur der größten Dichte sind in den tiefsten Schichten im Winter geringer als im Sommer. Er erblickte darin einen Beweis dafür, daß der Wind durch Hinabdrücken der wärmeren Oberschichten das Tiefenwasser erwärme.

Trotz dieser Erkenntnis nahm später W. Halbfaß im Handbuch der Geophysik[1] zur Frage der Wasserwärme am Seegrunde in der Weise Stellung, daß er unter Berufung auf die bereits erwähnten Untersuchungen F. Schnabls sowie die Arbeiten von A. Delebecque,[2] A. Thienemann,[3] F. E. Bourcart[4] und L. W. Collet[5] die Existenz von Quellen am Seeboden für den Wärmezustand am Seegrunde verantwortlich machte. Gleichzeitig betonte er aber, daß für den Hallstätter-, Zuger- und Bodensee diese Erklärung nicht angebracht sei. Soweit der Königssee in Betracht komme, sprach er sich wieder dahin aus, daß bei diesem die Erdwärme eine entscheidende Rolle spiele. Die gleiche Ursache glaubte er für den Chelansee im Staate Washington annehmen zu können, der mit seiner größten Tiefe von 458 m zu den tiefsten Seen Amerikas zählt und ähnlich dem Königssee in eine sehr schmale Erdspalte eingebettet ist. W. Halbfaß wies in diesem Zusammenhange neuerdings darauf hin, daß im Comer-, Walen-, Garda- und Würm-

[1] A. a. O. S. 171.

[2] Les lacs Français, Paris 1898, S. 163 ff.: Lac de la Girotte, Lac du Mont Cenis.

[3] Das Ulmener Maar, Münster 1912. — Die Eifelmaare, Bonn 1915.

[4] Les lacs alpins suisses, Genf 1906.

[5] Collet, Mellet, Ghezzi, Il lago Ritom, Bern 1918.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

see bisher vielleicht infolge Mangels häufiger Temperaturmessungen bis in die größte Tiefe eine Erhöhung der Wasserwärme unmittelbar über dem Seeboden nicht beobachtet worden sei. Bei kleineren Bergseen hielt er noch andere Ursachen für möglich. Er berief sich hiebei auf Grolls Messungen im Oeschinensee sowie auf die chemischen Zersetzungsprozesse der Fäulnisprodukte am Grunde des Sakrowersees.

Neuere Ausführungen F. Machatscheks[1] über den Gegenstand bewegten sich im allgemeinen in demselben Sinne wie die von W. Halbfaß. Er sah die Ursache dieser thermischen Anomalie teils in der Erdwärme, teils darin, daß Wasser der Zuflüsse, das infolge gelöster Substanzen ein größeres spezifisches Gewicht hat, zu Boden sinkt und dort verbleibt. In den Fällen, in denen die Anomalie nicht bloß die Bodenschicht, sondern überhaupt die tiefsten Schichten umfaßt, ließe sich die Ursache für sie in einer größeren Dichte des Tiefenwassers finden, die entweder durch das Auftreten von Mineralquellen mit relativ schwererem Wasser oder durch Lösung von Gipsstöcken und den dadurch erhöhten Gehalt des Tiefenwassers an Kalk- und Magnesiumsulfaten bedingt sein könne.

Unter Hervorhebung der Tatsache, daß die in den verschiedensten Ländern in Menge beobachtete Anomalie an deren Vorhandensein keinen Zweifel lasse, faßte[2] J. Findenegg die bisherigen Deutungsversuche dieses Phänomens zusammen und fand es durch höheren Salzgehalt des Wassers auch in den Fällen begründet, wo Fäulnis- oder Erdwärme als dessen Ursache angenommen wurde. Er räumte aber auch ein, daß nicht alle beobachteten Inversionen auf eine einheitliche Weise zu erklären seien, da die Wasserbeschaffenheit eines jeden Sees von zahlreichen Faktoren bedingt werde. Nichtsdestoweniger glaubte er die Temperaturinversionen in den Ostalpenseen auf zwei Ursachen zurückführen zu können, durch die diese Seen in zwei Gruppen zerlegt würden. Der einen gehörten die Tem-

[1] Das Wasser des Festlandes in Supan-Obst, Grundzüge der physischen Erdkunde, 8. Aufl., Bd. I, 1934, S. 442 ff.

[2] Die Entstehung sommerlicher Temperaturinversionen in Ostalpenseen. Bioklimatische Beiblätter, Heft 4. Braunschweig 1934, S. 160 ff.

peraturerhöhungen an, die unmittelbar über den tiefsten Teilen des Seebodens festgestellt wurden, der anderen diejenigen, die bereits in mittleren Wasserschichten auftreten und mitunter bis auf den Seegrund hinabreichen. Es können aber beide Inversionsarten auch gleichzeitig in einem und demselben See vorhanden sein. Bezüglich der Seen der ersten Gruppe verwies J. Findenegg darauf, daß selbst E. Richter in den Kärntner Seen nicht immer Temperaturanomalien beobachten konnte. Er erblickte in dieser Tatsache einen Beweis dafür, daß es sich in den positiven Fällen nur um Erscheinungen mit beschränkter Entwicklungsmöglichkeit gehandelt haben könne. Auf Grund eigener Messungen legte er Gewicht darauf, daß in den Kärntner Seen die Erscheinung nur an manchen, oft nicht einmal besonders ausgedehnten Stellen des Seebodens auftrete und sich nicht immer an den tiefsten Stellen des Sees besonders bemerkbar mache. Die chemische Untersuchung des Tiefenwassers ergab einen an Verwesungsprodukten reichen Bodenschlamm. Aus diesem löse das unmittelbar über dem Seeboden lagernde Wasser aller tieferen Seeteile derartige Mengen von Stoffen, daß sein spezifisches Gewicht eine namhafte Erhöhung erfährt und dadurch befähigt wird, sich gegen tiefere Stellen des Seebodens hin zu bewegen und diese zu erfüllen. Der Gehalt an fäulnisfähigen Stoffen bilde den Ausgangspunkt für lebhafte Oxydationsprozesse und weiterhin für Temperaturerhöhungen des Wassers. Diese Art der Inversion sei daher als Folge einer „biochemischen Mikroschichtung im Wasserschlammkontakt anzusehen, die nur in tieferen Mulden des Seebodens solche Mächtigkeit erreiche, daß sie mit einem Thermometer erfaßt werden könne“. Die Inversionen der zweiten Art erklärten sich daraus, daß in den tieferen Kärntner Seen während der kalten Jahreszeit die Abkühlung nicht bis zum Seegrunde vordringe und die durch Konvektionsströmungen und den Wind hervorgerufene Durchmischung des Wassers sich nur bis zu einer Tiefe von 40 m erstrecke. Unterhalb dieser Tiefe werde das Wasser auch im Winter nicht abgekühlt und behalte infolgedessen das ganze Jahr hindurch nahezu die gleiche Temperatur bei. Im Winter lagerten über diesem wärmeren Wasser mächtige, auf 4° ab-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

gekühlte Schichten. Diese Lagerung vermöge sich nur dadurch zu behaupten, daß die unteren Schichten reichlich gelöste Stoffe enthielten. Die Ursache für diese Art der Inversion liege demnach in der geringen Wasserdurchmischung während der ersten Erwärmungszeit des Frühlings. Dabei sei Voraussetzung, daß der See im Herbst nicht bis in die größten Tiefen hinab durchmischt und auf 4° abgekühlt worden sei. Diese Art der Inversion beruhe mithin nicht auf einer Wärmeentwicklung in der Tiefe, sie sei vielmehr ein Überbleibsel der winterlichen Inversion. Daraus gehe hervor, daß beide Arten der Temperaturanomalie nur die Folge einer unvollkommenen Wasserumschichtung seien, die ihre Ursache in dem Fehlen einer stärkeren Windwirkung auf den See habe. Voraussetzung für das Bestehen von Inversionen sei, daß der Dichteunterschied, den die höhere Temperatur mit sich bringe, durch den höheren Salzgehalt gegenüber den darüber lagernden Wasserschichten wettgemacht werde. Diese höhere Konzentration der gelösten Stoffe sei eine Folge biologischer Vorgänge.

G. J. Wereschtschagin streifte[1] das Anomalieproblem in dieser Zeit neuerdings. Er hob besonders die nachhaltige Wechselwirkung zwischen dem Seeboden und den diesem unmittelbar anliegenden Wasserschichten hervor, die sich mitunter dadurch zu erkennen gebe, daß eine schwache Erwärmung dieser stattfindet. Er führte diese Erscheinung auf geothermische Wirkungen zurück und sprach die Vermutung aus, daß die mit dieser Temperaturerhöhung verbundene Dichteminderung wahrscheinlich durch eine Vergrößerung der Dichte des destillierten Bodenwassers und durch eine Erhöhung der Mineralisation dieses Wassers kompensiert werde.

Auch J. Findenegg kam[2] ein zweites Mal auf die thermische Anomalie zu sprechen. Er ging hiebei von der Tatsache aus, daß im Winter und oft bis in den Sommer hinein Wasser von 4° über einem mit 5° temperierten Tiefenwasser im Weißen-

---

[1] Grundstriche der vertikalen Verteilung der Dynamik der Wassermassen des Baikalsees. A. a. O. S. 1230.

[2] Der Weißensee in Kärnten. IV. Sonderheft der „Carinthia", Klagenfurt 1936, S. 19ff.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

see liege, ohne unter letzteres abzusinken. Er fand die Erklärung hiefür darin, daß das fünfgradige Tiefenwasser einen größeren Reichtum an gelösten Stoffen besitze. Eine Überkompensation des thermisch bedingten Dichteunterschiedes sei hievon die Folge. F. Schnabl habe den von ihm vermuteten höheren Gehalt an Mineralstoffen im Tiefenwasser der Speisung des Sees durch stark kalkhaltige unterseeische Quellen zugeschrieben. Diese Erklärung könne aber deswegen keine Geltung für sich beanspruchen, weil in den Tiefen des Sees das ganze Jahr hindurch völlige Sauerstoffleere herrsche, eine Tatsache, die sich mit der Annahme eines Zustromes frischen, reichlich Sauerstoff enthaltenden Quellwassers nicht in Einklang bringen lasse.

Der hohe Salzgehalt des Tiefenwassers werde vielmehr durch biochemische Vorgänge hervorgerufen. Daß sich in ihm eine Anreicherung mit jenen Stoffen feststellen lasse, die in den höheren Wasserschichten sich nur in ganz geringen Mengen vorfänden, sei eine Folge der Dauerstagnation in den Schichten unterhalb 60 m, bis wohin sich noch ein Austausch durch Turbulenz geltend mache. Diese andauernde Stagnation bedinge, daß der verbrauchte Sauerstoff nicht mehr ersetzt werde und verursache in weiterer Folge, daß dieses Gas vollkommen verschwindet. Diesem Fehlen von O_2 sei die Bildung von Schwefelwasserstoff zuzuschreiben, da sich der Abbau der organischen Substanz beim Fehlen des Sauerstoffes unter anderen Formen vollziehe.

S. Yoshimura konnte[1] über Temperaturlotungen in einer Reihe japanischer Seen berichten, die eine abnormale thermische Schichtung ergeben hatten. Er erklärte diese Anomalien teils durch den unterseeischen Zufluß mineralhaltiger Quellen oder durch das Vorhandensein von Brackwasser, teils durch die Stagnation des Hypolimnionwassers während des ganzen Jahres. Er folgte hiebei den soeben gewürdigten Darlegungen J. Findeneggs.

[1] A contribution to the knowledge of deep water temperatures of japanese lakes. Japanese Journal of astronomy and geophysics, vol. XIII, No 2, part I, 1936, S. 97.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Zuletzt berührte[1] Fr. Ruttner die Frage der anormalen Schichtung des Seewassers. Er verwies zunächst darauf, daß bei höherem Druck das Dichtemaximum des Wassers bei einer niedrigeren Temperatur als 4° C liege und daß infolgedessen in sehr tiefen Seen häufig Tiefentemperaturen von weniger als 4° angetroffen worden seien, ohne daß dadurch die stabile Schichtung eine Störung erlitten hätte. Die Anomalie des Wassers sei aber auch in dem gleichzeitigen, in bezug auf das Mengenverhältnis von der Temperatur abhängigen Vorhandensein schwererer und leichterer Wassermoleküle begründet. Der leichte Temperaturanstieg um einige Zehntelgrade in dem dauernd stagnierenden Hypolimnion gehe auf verschiedene Ursachen zurück. In vielen Fällen sei der Untergrund des Seebodens die Wärmequelle, in anderen die Einschichtung von Grundwasser oder die Verbrennungswärme oxydierter organischer Substanzen.

Der Sachlage nach haben wir eine Gruppe von Seen, in denen die Wärmeanomalie des Bodenwassers klar zutage tritt, und eine zweite, in der sie vollkommen fehlt. Die erstere Gruppe zerfällt wieder in solche Seen, in denen die Anomalie auf Ursachen zurückgeführt werden kann, die dem jeweiligen See spezifisch eigentümlich sind, und in solche, in denen sie durch Vorgänge ausgelöst wird, denen problematischer Charakter innewohnt. Für die Klärung der letzteren erscheint es notwendig, alle jene Fälle aus der Betrachtung auszuscheiden, in denen die Erhöhung der Dichte des Wassers durch eine wie immer geartete Zufuhr von mineralischen Substanzen bedingt ist.

Außerhalb des Rahmens des Problems fallen daher „Salzseen", wie beispielsweise der Ritomsee oder die salinen Seen Japans.[2] Temperaturanomalien in derartigen Seen finden ihre Erklärung ohneweiters in der Lagerung, welche die einzelnen Wasserschichten vermöge ihres jeweiligen spezifischen Gewichtes einnehmen. Problematisch ist nur der Zustand, in dem ohne mineralhaltigen unterseeischen Zufluß die beobachtete Grund-

[1] Grundzüge der Limnologie, Berlin 1940, S. 32.

[2] Vgl. S. Yoshimura, a. a. O., S. 68ff.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

temperatur des Wassers um einige Zehntelgrade höher ist als die der oberhalb ihr lagernden Wasserschichte.

Überblicken wir die Versuche, die gemacht wurden, in diesem Falle die Ursache der Anomalie festzustellen, so will es fast scheinen, als sei man im wesentlichen über die Anschauungen nicht hinausgekommen, die gelegentlich der frühesten Beobachtungen dieses Phänomens geäußert wurden. Immer wieder stoßen wir auf die Annahme geothermischer Wirkungen oder von Fäulniswärme, die, durch biochemische Vorgänge ausgelöst, dem Bodenwasser die erhöhte Temperatur verleihen. Ihnen gegenüber tritt die Einschätzung der Wirkung des Wasserdruckes in den Hintergrund, zumal der Einwand nicht unberechtigt ist, daß sich dessen Einfluß in allen Seen von einer bestimmten Tiefe geltend machen müßte. Trotzdem kommt den Untersuchungen G. J. Wereschtschagins grundsätzliche Bedeutung zu.

Zu bedenken bleibt, daß es unter den Seen mit problematischer Temperaturinversion auch solche gibt, in denen diese nicht immer beobachtet werden konnte. Sie scheint daher in bestimmten Fällen an die Erfüllung gewisser Vorbedingungen geknüpft zu sein und demzufolge einen für die betreffenden Seen spezifischen Charakter nicht unter allen Umständen zu besitzen. In diesem Sinne pflichten wir J. Findenegg bei, der von „Erscheinungen mit beschränkter Entwicklungsmöglichkeit“ und von den „Folgen einer unvollkommenen Wasserumschichtung“ sprach. Aus diesen Erwägungen geht mit immer größerer Deutlichkeit hervor, daß auch die Wärmeanomalie des Bodenwassers zu den spezifischen Eigenschaften jedes einzelnen Sees gehört und ein Gesetz, dem alle Seen von vornherein in diesem Belange unterworfen wären, nicht existiert.

Zum Schlusse sei die Aufmerksamkeit auf einen Faktor gelenkt, der bisher nicht in den Kreis der Betrachtungen gezogen wurde, dem aber für die Lagerung der einzelnen Wasserschichten und demgemäß auch für den Wärmezustand der Bodenwasserschichte ausschlaggebende Bedeutung innewohnen dürfte. Es ist dies[2] das sogenannte „schwere Wasser“ mit

[2] Vgl. H. Mark, Das schwere Wasser, Leipzig und Wien 1934.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

dem Isotop H^2, das doppelt so schwer wiegt als H^1. Wenn in der täglich an Wien in der Donau vorbeifließenden Wassermenge so viel des schweren Isotops enthalten ist, daß es, als H^2H^2O isoliert, eine Menge von rund 20,000.000 l ausmachen würde,[1] so müßte es beispielsweise in den nachstehenden Seen in einer Menge von

479.000 m³	in dem	3934 Mill. m³ messenden Wasserkörper	des Attersees,
280.000 „		2302	Traunsees,
68.000 „		557	„ Hallstättersees,
59.000 „		482	Königssees

vorhanden sein.

Vergegenwärtigen wir uns, daß bei $20{\cdot}00 \pm 0{\cdot}05^0$ C, bezogen auf das Gewicht des gleichen Volumens von Normalwasser, das spezifische Gewicht des reinen schweren Wassers ($100\,\%$ — D_2O) $1{\cdot}10737 \pm 0{\cdot}00001$ beträgt,[2] sowie daß das kleinste Volumen dieses Wassers bei $11{\cdot}6^0$ und sein Schmelzpunkt bei $3{\cdot}8^0$ liegt, so können wir ermessen, in welch hohem Grade es die Lagerungsverhältnisse der einzelnen Seeschichten zu beeinflussen vermag. Eine experimentelle Bestimmung aller seiner physikalischen Eigenschaften ist noch ausständig. Ein abschließendes Urteil über die Wirksamkeit des schweren Wassers wird aber erst dann möglich sein, wenn sein Herkommen oder seine Entstehung geklärt sein werden. Vielleicht gestattet dann deren Nachweis, warum die Temperaturinversion nur in bestimmten Seen auftritt und warum sie selbst in diesen nicht zu deren ständigen Eigenheiten zählt.

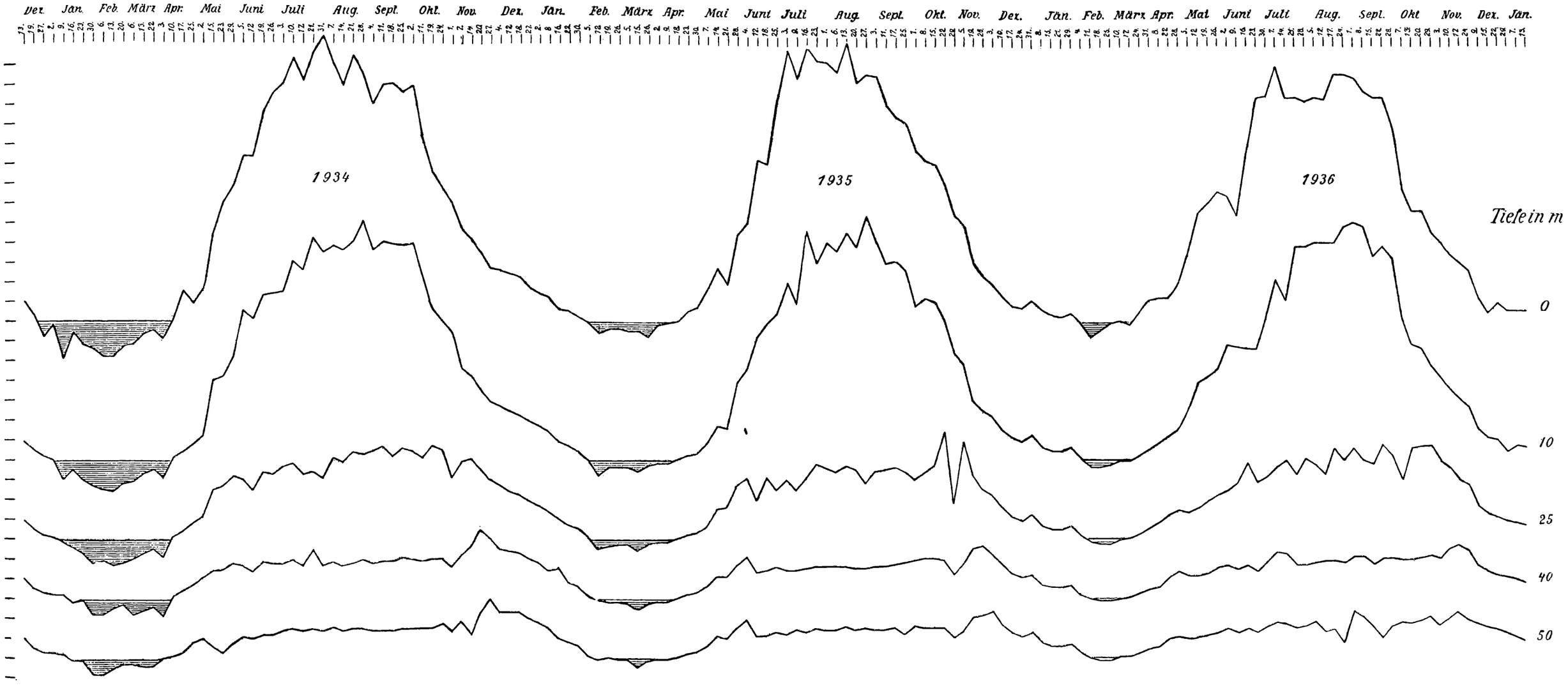
Unterdessen müssen wir uns damit bescheiden, daß die Wärmeanomalie am Grunde tiefer Seen kein integrierender Faktor im Wärmehaushalt der Seen ist, daß sie nur in einzelnen von ihnen auftritt und in diesen an lokale, dem betreffenden See spezifische Eigentümlichkeiten, sei es der Seewanne, sei es ihrer Erfüllung, gebunden ist.

---

[1] Ebenda, S. 18.

[2] K. Wirtz, Spezifisches Gewicht von D_2O bei verschiedenen Temperaturen. Naturwissenschaften, 30. Bd., 1942, Berlin, S. 330.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at



Der jährliche Temperaturgang in den obersten 50 Metern des Achensees in den Jahren 1934–1936.

Abb. 1.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

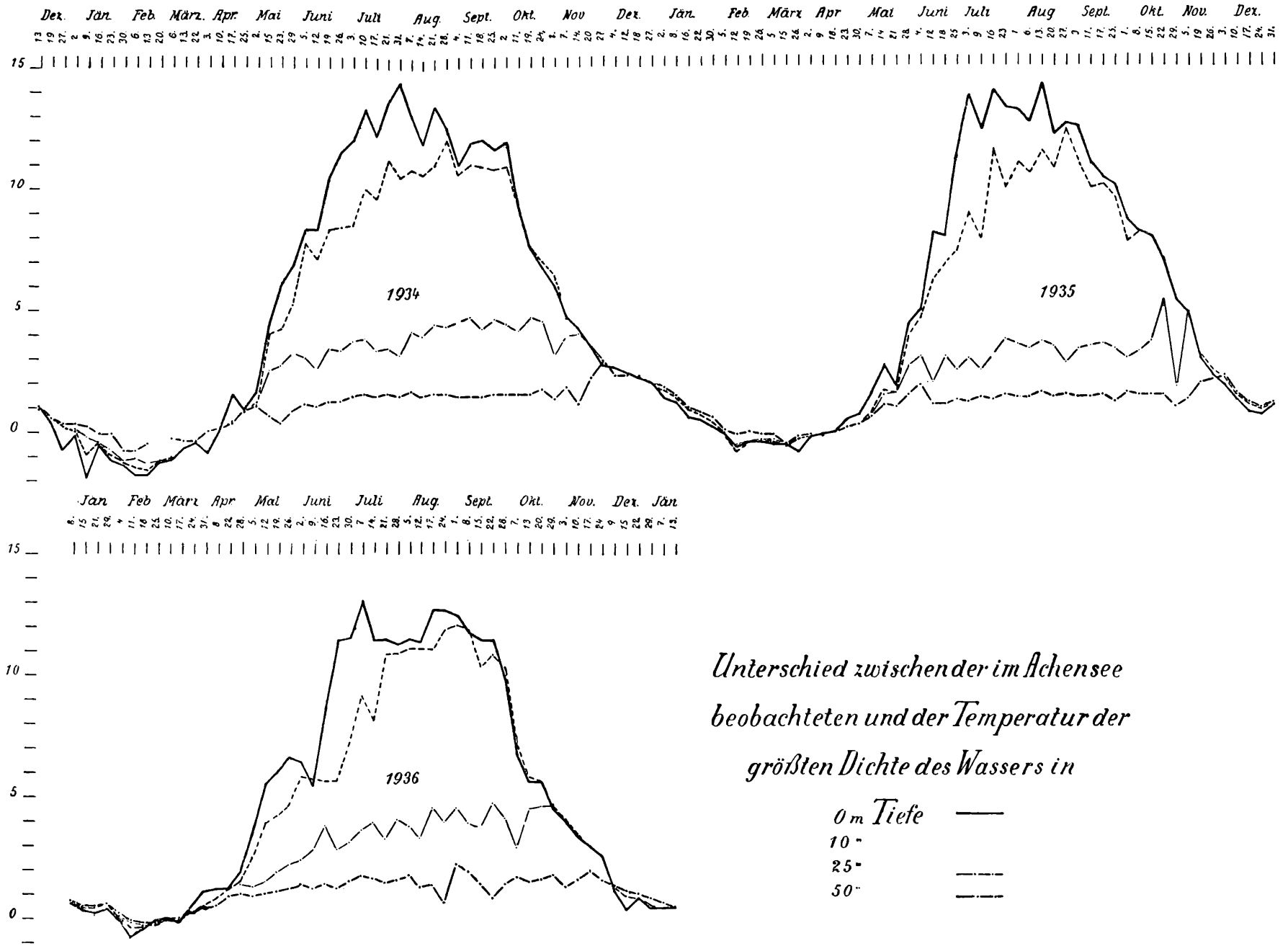


Abb. 2.